



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DO SOLO NA
OCORRÊNCIA DE ILHAS DE CALOR NA REGIÃO CENTRAL DO
VALE DO TAQUARI**

Louise Alves Amaro

Lajeado, junho de 2018

Louise Alves Amaro

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DO SOLO NA
OCORRÊNCIA DE ILHAS DE CALOR NA REGIÃO CENTRAL DO
VALE DO TAQUARI**

Trabalho de Conclusão de Curso II submetido
ao Curso de Engenharia Ambiental, da
Universidade do Vale do Taquari - Univates,
como parte dos requisitos para a obtenção do
título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Ms. Rafael Rodrigo Eckhardt

Lajeado, junho de 201

Louise Alves Amaro

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DO SOLO NA
OCORRÊNCIA DE ILHAS DE CALOR NA REGIÃO CENTRAL DO
VALE DO TAQUARI**

A banca examinadora abaixo aprova o Trabalho de Conclusão de Curso Etapa II, apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Ambiental:

Prof. Ms. Rafael Rodrigo Eckhardt – orientador
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Ms. Flávio Aguiar Folletto
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Lajeado, junho de 2018

RESUMO

A expansão urbana e a consequente modificação no uso e cobertura do solo ocasionam mudanças nas características climáticas locais. Dentre essas alterações, as ilhas de calor urbano, as quais caracterizam a diferença de temperatura entre o meio urbano e rural, ganham destaque devido à influência no conforto térmico e qualidade ambiental. Para que o planejamento urbano estimule a elevação dos níveis de qualidade de vida, se faz necessário o estudo da paisagem e a compreensão das dinâmicas climáticas envolvidas no fenômeno de ilhas de calor. Nesse contexto, o uso de sensores remotos e Sistemas de Informação Geográfica - SIG se tornaram ferramentas importantes para o mapeamento do uso e cobertura do solo e a avaliação da ocorrência de ilhas de calor urbano. O presente estudo teve por objetivo mapear as mudanças do uso e cobertura do solo e da temperatura superficial dos municípios de Arroio do Meio, Colinas, Estrela, Lajeado, e Teutônia, localizados na região Central do Vale do Taquari – RS. Para tanto, utilizou-se imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8, dos anos de 2004, 2009 e 2018, durante o verão. Após mapeamento da cobertura do solo e da temperatura superficial da área de estudo, verificou-se que no verão a variação de temperatura entre áreas urbanas e rurais pode chegar a 15°C, sendo as menores temperaturas encontradas em regiões periféricas e de topo de morro, enquanto as concentrações de temperatura mais elevadas foram mais perceptíveis nas regiões de maior urbanização.

Palavras-chave: Análise de Paisagem, Temperatura Superficial, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Transformação de Tons de Cinza para Radiância	37
Equação 2 - Temperatura Superficial	38
Equação 3- Determinação da Variação de Temperatura	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas Máximas Antecedentes à Data Simulada.....	44
Gráfico 2 - Distribuição de Temperatura pela Área	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo conceitual da paisagem	18
Figura 2- Dinâmica da Ilha de Calor Urbana	24
Figura 3 - Relação entre temperatura do ar e da superfície durante o dia e a noite.....	26
Figura 4 - Dinâmica do Sensoriamento Remoto	29
Figura 5 - Espectro eletromagnético	30
Figura 6 - Mapa de localização do Vale do Taquari	32
Figura 7 - Altimetria da área de estudo	33
Figura 8 - Fluxograma metodológico	35
Figura 9- Mapas de Uso e Cobertura da Terra da área central do Vale do Taquari, RS, nos anos de 2004, 2009 e 2018.....	42
Figura 10 - Temperatura Superficial da Área Central do Vale do Taquari no Ano de 2004 ...	46
Figura 11- Temperatura Superficial da Área Central do Vale do Taquari no Ano de 2009	47
Figura 12 - Temperatura Superficial da Área Central do Vale do Taquari no Ano de 2018 ...	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Albedo de algumas superfícies.....	22
Tabela 2 - Condições climáticas das imagens utilizadas.....	37
Tabela 3 - Características e constantes de calibração das imagens.....	38
Tabela 4 - Quantitativo de áreas por classes de cobertura do solo.....	40
Tabela 5 - Comparação da Temperatura Superficial.....	43
Tabela 6 - Variação Térmica Superficial Mapeadas.....	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Escalas espaciais e temporais do clima.....	20
Quadro 2 - Diferenças entre as ICU da superfície e atmosfera.....	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 Paisagem	16
3.1.1 Uso e cobertura do solo	18
3.2 Clima.....	19
3.3 Ilhas de Calor	24
3.4 Geotecnologias	27
3.4.1 Geoprocessamento	27
3.4.2 Sensoriamento Remoto	28
4 METODOLOGIA.....	31
4.1 Área de estudo.....	31
4.2 Materiais.....	34
4.3 Procedimentos Metodológicos	34
4.3.1 Uso e cobertura do solo	35
4.3.2 Temperatura Superficial.....	36
4.3.3 Análise das Ilhas de Calor	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1 Mapeamento Cobertura do Solo	40
5.2 Temperatura Superficial.....	43
5.3 Análise das Ilhas de Calor	49
CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A expansão urbana tem modificado significativamente os ambientes naturais. O desenvolvimento das atividades humanas e a necessidade concentração em grandes centros urbanos, influenciaram as mudanças territoriais e levaram a caracterização de um mosaico na paisagem, com diferenças entre as áreas urbanas e rurais mais expressivas.

De acordo com Feitosa et al. (2011), em decorrência da urbanização sem planejamento adequado, aspectos como impermeabilização do solo, matérias de construção civil utilizados no meio urbano, poluição do ar e supressão vegetal, além de modificarem o espaço das cidades, formam novos microclimas e desequilibram os elementos climáticos em escala local. De acordo com Coltri (2006), para análise das mudanças climáticas locais devem ser considerados os principais elementos envolvidos nas dinâmicas atmosféricas, como temperatura, umidade, ventos e precipitação, observando de forma integrada as variáveis características das áreas urbanizadas.

Nascimento e Oliveira (2011) apontam que nesse cenário de mudanças, o comportamento da temperatura é o mais importante elemento do sistema do clima urbano. A ocorrência de temperaturas mais elevadas nas áreas mais urbanizadas e mais brandas nas áreas rurais e periféricas são o principal produto das alterações climáticas locais, sendo o fenômeno chamado de ilha de calor urbano. Gardona e Vaz (2017) ressaltam que essa variação de temperatura nos climas locais, em curtos espaços de tempo, está diretamente vinculada à qualidade de vida da população e o conforto ambiental das cidades, o que torna importante o estudo do fenômeno de ilhas de calor.

Para entender as causas das ilhas de calor urbano é necessário também compreender a dinâmica onde estão inseridas. De acordo com Barros e Lombardo (2016), as diferentes coberturas do solo podem causar efeitos distintos nas temperaturas superficiais e atmosféricas, destacando que os usos também podem influenciar nessa dinâmica. Em estudo realizado na cidade de São Paulo, os autores observaram variação térmica de 8°C, entre as regiões urbanas e rurais. Conforme Farias et al. (2013), as alterações do uso e ocupação do solo podem ser observadas nos eixos espacial e temporal e seu estudo por determinado período é imprescindível para a compreensão da organização urbana, pois entender as alterações pode subsidiar o planejamento ambiental e urbano.

Segundo Delgado (2012), o uso de tecnologias como sensoriamento remoto auxiliam nos estudos envolvendo as alterações do ambiente e climas locais, facilitando a análise dos fenômenos e a interação entre sociedade, natureza e o espaço urbano. Lang e Blaschke (2009) indicam que os métodos de processamento digital auxiliam diversas etapas do planejamento, pois possibilitam a combinação de diversos dados, além do diagnóstico de situações reais.

Dentre as tecnologias disponíveis destaca-se a aplicação do sensoriamento remoto. Conforme Nascimento e Oliveira (2011), a partir do sensoriamento remoto orbital pode-se estimar os valores de temperatura superficial, com o auxílio das ferramentas do geoprocessamento para análise das alterações térmicas e a ocorrência do fenômeno de ilha de calor urbano.

De acordo com Coltri (2006), utilizando o modelos matemáticos e softwares, o sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta importante no estudo de comportamentos térmicos. A autora ressalta que as informações das bandas do infravermelho termal, captadas por sensores, podem ser convertidas em valores de temperatura e possibilitam projetar o desenho termal das superfícies.

Com base no exposto e entendendo a importância de pesquisas sobre modificações em climas locais e sua influência na qualidade ambiental, o presente estudo pretende analisar a temperatura superficial, a partir de técnicas de sensoriamento remoto, na região central do Vale do Taquari, abrangida pelos municípios de Arroio do Meio, Estrela, Lajeado, Colinas e Teutônia. A escolha do local de estudo, deve-se a sua relevância da região do Vale do Taquari, pois corresponde a área de maior densidade demográfica e desenvolvimento industrial.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a influência do uso do solo na ocorrência de ilhas de calor e sua distribuição espaço-temporal, por meio do sensoriamento remoto, na região central do Vale do Taquari.

2.2 Objetivos específicos

- Conhecer as mudanças espaço-temporais da cobertura do solo;
- Mapear a variação da temperatura superficial do solo;
- Verificar a ocorrência de ilhas de calor.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Paisagem

Conforme Puntel (2006), o conceito de paisagem teve diferentes entendimentos ao longo da história, tendo sua definição revista devido à evolução dos métodos de análise e a discussão de paradigmas. Maximiliano (2004) salienta que a paisagem, enquanto área de estudo, já foi abordada sob diferentes ênfases, de acordo com os objetivos das pesquisas realizadas. Todavia, na área da geografia, é consenso que a paisagem se trata da relação dinâmica entre os elementos físicos, biológicos e antrópicos.

Tal definição é ratificada por outros autores, como Schier (2003), ao citar que considerar o contexto geográfico e histórico de um objeto e apresentá-lo de acordo com sua configuração social e os processos naturais e humanos envolvidos, configura um estudo de paisagem. Ademais, Bertrand (1972) conclui que a paisagem é um conjunto, único e indissociável, resultante da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos em uma porção de espaço específica, a qual passa por contínua evolução e alterações.

Segundo Santos (2007), a Terra sofre intervenção de diversos processos e fenômenos que definem o desenho das paisagens e podem ter origem natural ou antrópica. Dessa forma, o espaço está em constante mudança, as quais são observadas sob as visões espacial e temporal, considerando as alterações históricas do local e seu estado atual. A autora ressalta que a análise das interações e grau de detalhamento da paisagem variam de acordo com o objetivo e a escala espaço-temporal de cada estudo.

A análise espaço-temporal da paisagem tornou-se importante na observação e compreensão das transformações e fenômenos envolvidos na sua dinâmica. Para tanto, tendo

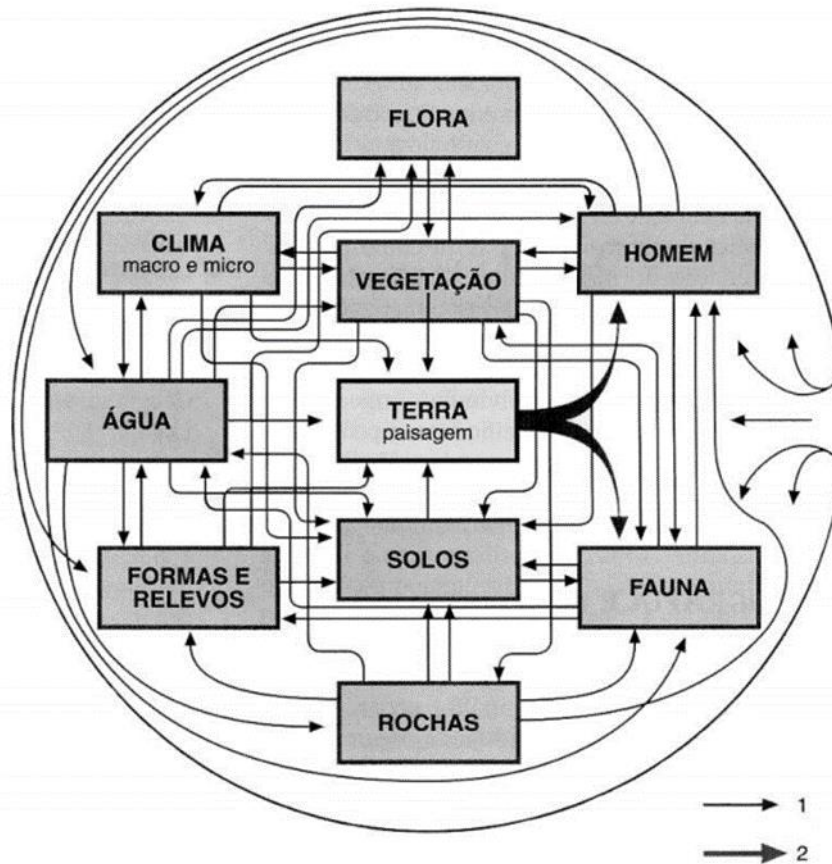
em vista a complexidade da dinâmica da paisagem, são necessários dados multitemporais do local estudado, além da análise integrada às relações envolvidas. Essas análises contribuem para um prognóstico de tendências e planejamento do espaço da paisagem (LANG; BLASCHKE, 2009).

Metzger (2001), aponta que o estudo da paisagem pode ter diferentes abordagens, das quais cita como principais a geográfica e a ecológica. A primeira, influenciada pela biogeografia e fitossociologia, relaciona a área de estudos da geografia e arquitetura com o planejamento regional. A abordagem ecológica, no entanto, foi orientada pelos estudos da ecologia de ecossistemas. O autor ainda salienta que o estudo da paisagem teve grandes ganhos com os avanços tecnológicos, a partir do uso de imagens de satélite e ferramentas computacionais, que permitiram o tratamento de imagens e análises geoestatísticas.

Dados de sensores orbitais são muito utilizados para análise de informações espaciais, sendo importantes nos estudos da fragmentação da paisagem e subsidiando a avaliação da conectividade entre os elementos que a compõem. Entende-se por conectividade a capacidade de comoção entre as unidades da paisagem (GOERL et al., 2011).

De acordo com Christofolletti (2002), com os avanços do conhecimento na área da geografia e ecologia surgiram várias propostas para determinar os componentes da paisagem, a fim de ter uma visão que englobasse todos os elementos envolvidos. Nesse contexto, o autor explica o surgimento do conceito de Ecologia da Paisagem. A Figura 1 representa o modelo de paisagem proposto por Zonneveld (1979), apresentando, em 1 as relações de dependência em diversos graus e em 2, as duas principais retroalimentações.

Figura 1 – Modelo conceitual da paisagem



Fonte: Christofolletti, 2002.

3.1.1 Uso e cobertura do solo

Com o desenvolvimento de suas atividades, o homem fez uso dos espaços disponíveis modificando o meio em que vive e transformando a estrutura das paisagens. No entanto, essas mudanças nem sempre ocorreram de forma síncrona com o planejamento do espaço urbano e rural, o que pode prejudicar a qualidade ambiental. Dessa forma, o conhecimento do uso e cobertura do solo se torna essencial para caracterizar as consequências ambientais, sendo sua compreensão o princípio para o planejamento territorial (SANTOS, 2007).

Nascimento (2011) ressalta que a cobertura do solo diz respeito ao revestimento da superfície, como área urbanizada, vegetação e recursos hídricos. A classificação do uso do solo, porém, requer maior nível de detalhamento, no qual é apresentado a utilização do espaço pela comunidade, como lazer, comércio, área de mineração, entre outros. De acordo com IBGE

(2013), esses conceitos são associados entre si, haja vista que o uso do solo por atividades humanas está diretamente ligado com sua cobertura.

A identificação do uso e cobertura do solo é realizada por categorias ou classes, de acordo com as características do local e os objetivos do estudo. A espacialização e quantificação das classes de uso do solo, apresentadas por mapas de uso e cobertura solo e percentual de ocupação, nessa ordem, são normalmente realizadas a partir de imagens obtidas por sensores remotos orbitais e utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs). Além disso, para projeção de cenários esses resultados são validados *in loco* e associados a mapeamentos anteriores e dados históricos da região. A quantidade de classes mapeadas em estudos de uso e ocupação do solo varia conforme a distribuição espacial do local. Destaca-se como principais categorias de cobertura do solo: áreas urbanas, vegetação exótica, vegetação nativa, solo exposto, pastagens, agricultura e recursos hídricos (SANTOS, 2004).

3.2 Clima

Segundo Cavalcanti (2015), o clima é formado por um conjunto de fatores, como latitude, dos oceanos e a altitude do local, que influenciam nas características dos elementos climáticos. Ao que se refere a definição do clima de determinado local, essa será baseada na média das condições de tempo observadas por um longo período. De acordo com Santos (2004), deve-se considerar pelo menos 30 anos de registros contínuos para estudos de clima. Embora essa condição seja atípica, devido à ausência de dados ininterruptos e de estações meteorológicas completas.

Almeida Júnior (2005), ressalta que tempo e clima são conceitos diferentes. Entende-se como tempo as características de determinado momento dos elementos climáticos, como temperatura, precipitação, umidade e vento. Essas condições podem variar com frequência. O clima, no entanto, representa os padrões dos elementos climáticos, entre suas diversas variações. Estudos de clima envolvem análise de um longo período de dados e diferentes fenômenos, de acordo com sua escala.

A análise do clima ocorre em diferentes escalas, tendo abordagens e objetivos distintos em cada ordem de grandeza. O clima zonal compreende os fenômenos de toda atmosfera e apresenta grandes extensões, nele são considerados fatores como superfície e inclinação do eixo

terrestre e sistemas climáticos amplos, como circulação geral da atmosfera e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). As variações que ocorrem em menor escala dentro do clima zonal são classificadas em climas regionais, que podem abarcar diferentes extensões. Os climas regionais são caracterizados pela ocorrência de condições de relativa estabilidade em uma região, como o clima do cerrado, clima da caatinga ou clima da floresta amazônica. (RIBEIRO, 1993).

Quanto ao clima local, sua extensão irá variar de acordo com a influência de fatores fisiográficos e antrópicos em uma região, limitando-se verticalmente à Camada Limite Planetária¹. Estudos em nível local consideram principalmente as condições do relevo e dados meteorológicos, que podem ser obtidos em estações meteorológicas. Dentro do clima local ainda é estudado o topoclima, que está relacionado com o efeito da topografia nas variações dos elementos do clima. (RIBEIRO, 1993).

Segundo Mendonça (2017), os fenômenos climáticos podem ser estudados sob as dimensões espaciais e temporais, as quais estão escaladas em ordem de grandeza, tendo em vista que o clima de menor escala está inserido no de maior escala. O Quadro 1 apresenta uma síntese das escalas espaciais e temporais utilizadas nos estudos do clima.

Quadro 1 – Escalas espaciais e temporais do clima.

Ordem de Grandeza	Subdivisões	Escala Horizontal	Escala Vertical	Temporalidade das variações	Exemplificação Espacial
Macroclima	Clima zonal Clima regional	>2.000 km	3 a 12 km	Algumas semanas a vários decênios	O globo, um hemisfério, oceano, continente, os mares etc.
Mesoclima	Clima regional Clima local Topoclima	2.000 km a 10 km	12km a 100 m	Várias horas a alguns dias	região natural, montanha, região metropolitana, cidade etc.
Microclima	-	10 km a alguns m	abaixo de 100 m	De minutos ao dia	Bosque, uma rua, uma edificação/casa etc.

Fonte: adaptado de MENDONÇA (2017).

Santos (2004) salienta que o estudo do clima busca explicar a influência de seus fatores na vida, saúde e atividades humanas. Sua análise em larga escala, relacionada com temas como solo, fauna e flora, contribui para o diagnóstico do cenário atual da paisagem. Diante disso, as

¹ “A superfície da terra é um limite do domínio da atmosfera. Processos de transporte neste domínio modificam uma região da atmosfera que se estende de 100 a 3000m, criando a Camada Limite Planetária (CLP). O restante da troposfera é denominado atmosfera livre.”

mudanças climáticas têm sido temas de diversas pesquisas. Conforme Coltri (2010), dentre essas mudanças o aumento da temperatura é o mais estudado. A autora também esclarece que alterações climáticas fazem parte da história do planeta e envolvem uma complexa dinâmica que deve considerar, além do aumento efetivo da temperatura, a relação entre ações antrópicas, efeito dos gases de efeito estufa e os processos naturais de macroescala.

3.2.1 Elementos Climáticos

Conforme Carvalho (2001, p.45), “para se estudar o clima de uma forma mais detalhada, é necessário analisar os elementos constituintes desse clima.” Para Mendonça (2017), esses estudos são conduzidos pela análise dos elementos climáticos e os fatores do clima. Enquanto os elementos representam as propriedades atmosféricas da área de estudo, os fatores correspondem aos aspectos geográficos do local, os quais condicionam a variação espaço-temporal dos elementos climáticos. Cita-se que os elementos mais relevantes para caracterização do clima são: temperatura do ar; umidade; pressão; radiação, precipitação e movimentos do ar (vento). Carvalho (2001) esclarece ainda que os fatores climáticos podem ter diferentes importâncias, dependendo da escala observada. Em climas locais, por exemplo, fatores como topografia, vegetação e superfície do solo demonstram-se muito relevantes na análise ambiental, enquanto fatores estáticos como latitude, altitude, proximidade do mar e posição geográfica têm menor contribuição, pois não apresentam variações.

A temperatura do ar refere-se ao calor sensível nele armazenado, é quantificada em graus e pode ser expressa em diversas escalas, sendo Celsius e Fahrenheit as mais usuais. Os principais fatores que influenciam a variação temporal da temperatura são a trajetória diária e anual do Sol e a tendência de oscilação térmica a longo prazo. Em escala diária fatores como vento e nebulosidade também interferem na variabilidade de temperatura, pois ao promover a movimentação de massas de ar, o vento modifica o calor presente no ar de determinado local (MENDONÇA, 2017).

Os ventos, numa escala local, são orientados pelas diferenças térmicas, da superfície do solo e do relevo. Diante disso, aspectos como a densidade da mancha urbana, verticalização das construções e as estações do ano podem interferir na velocidade e direção dos ventos. Isso torna esse elemento climático importante no planejamento urbano, pois suas alterações estão diretamente ligadas aos microclimas existentes nas cidades (TOMASINI, 2011).

Conforme Romero (2001), a radiação emitida pelo sol também pode alterar os microclimas urbanos, pois está diretamente ligada às variações de temperatura. Segundo Barry e Chorley (2013), o coeficiente de reflexão, que corresponde à razão da radiação refletida pela incidente, apresentado em porcentagem, é chamado de albedo. O autor salienta que, em função do seu albedo, de modo geral a presença de nuvens diminui substancialmente a temperatura. No Quadro 2 pode-se visualizar o coeficiente de reflexão de algumas superfícies, elaborada por Mendonça (2017).

Tabela 1 - Albedo de algumas superfícies

Tipo de superfície	Albedo (%)
Solo negro e seco	14
Solo negro e úmido	8
Solo nu	7 – 20
Areia	15 – 25
Florestas	3 – 10
Campo de cultivos secos	20 – 25
Gramados	15 – 30
Nuvens cumuliformes	70 – 90
Concreto seco	17 – 27
Asfalto	5 – 10
Terra	31

Fonte: adaptado de MENDONÇA (2017).

Outro elemento climático importante nos estudos do clima é a umidade, aspecto que caracteriza a quantidade e proporção do vapor d'água na atmosfera, que promove o processo de evaporação e evapotranspiração naturais e sofre influência principalmente pela temperatura e proximidade com os polos e linha do equador. Quanto maior a temperatura, maior será capacidade do ar de retenção do vapor (CARVALHO, 2001).

A umidade é comumente apresentada nas variações de: umidade absoluta (peso do vapor d'água por volume de ar); umidade específica (peso do vapor d'água por peso do ar) e umidade relativa (percentual de vapor d'água no ar). A umidade relativa diminui com o aumento de temperatura e pode variar significativamente durante o dia e épocas do ano, enquanto a umidade absoluta diminui com temperaturas baixas e tende a ser mais constante (ROMERO, 2001). Mendonça (2017) ressalta que a medida de umidade relativa é a mais popular e expressa a quantidade de vapor d'água em relação ao máximo que pode haver.

“A evaporação das águas de superfície leva à formação de nuvens que redistribuem a água na forma de chuva ou outras precipitações” (ROMERO, 2001, p. 17). A precipitação é um elemento importante na composição da atmosfera e que no contexto de alterações climáticas está diretamente ligada às taxas de evapotranspiração e massas de água, as quais influenciam a umidade e temperatura do ar (BARRY; CHORLEY, 2013).

3.2.2 Clima Urbano

O clima urbano é descrito por Nascimento (2011) como o resultado da urbanização em um clima local. A concentração de atividades antrópicas, proveniente do processo de urbanização, ocasiona a mudança no uso e cobertura do solo, principalmente pelo aumento das construções e diminuição da cobertura vegetal. Nesse contexto de mudanças, há também a geração de impactos ao meio ambiente, como a diminuição da permeabilidade do solo, aumento da temperatura e alteração na composição da atmosfera.

Conforme Santos (2007), as áreas rurais contrastam com às urbanizadas, pois devido à maior cobertura de vegetação apresentam temperaturas mais amenas. Conforme a urbanização aumenta, a tendência é de maior ocorrência de áreas cobertas por concreto e asfalto, provocando o aquecimento urbano. Segundo Coltri (2006), essa variação de temperatura entre a área urbanizada e rural é caracterizada como uma ilha de calor urbano.

Barry e Chorley (2013) ressaltam que as intervenções antrópicas alteram os microclimas existentes, criando novas características locais. O autor cita que os impactos dessas intervenções podem ser analisados a partir de três dimensões: modificações na composição atmosférica, nas características da superfície e do balanço de calor. A atmosfera urbana é composta por diversos gases e materiais particulados, como ozônio, dióxido de enxofre, óxido de nitrogênio, poeira e hidrocarbonetos complexos. As modificações na composição atmosférica no clima urbano são atribuídas prioritariamente à poluição, que impactam na passagem de radiação e luminosidade solar, devido os núcleos de condensação que se formam. Além disso, a concentração de fumaça diminui a velocidade dos ventos em nível local e uma possível inversão térmica pode alterar demais elementos climáticos, como temperatura e umidade.

Sobre as características da superfície urbana, Barbosa (2006) destaca que:

“Estes possuem propriedades físicas distintas do solo natural, apresentando menor valor de albedo, maior capacidade calorífica e valor mais elevado de condutividade térmica. Tais características resultam na modificação do balanço da radiação influenciando, sobretudo, a temperatura do ar. Pode-se ainda destacar o calor gerado pelas diversas atividades humanas na cidade. Isto constitui fator significativo na modificação do balanço de energia. O calor Antropogênico, somado aos efeitos já descritos, provoca aumento nos valores de temperatura do ar em relação aos ambientes vizinhos, concorrendo para o surgimento de características climáticas peculiares ao ecossistema urbano.” (BARBOSA, 2005, pg. 9 e 10)

Dessa forma, considerando todos impactos das atividades humanas nas alterações de climas e paisagens locais, fica nítida a necessidade de compreender a relação entre o espaço e o clima para integrá-la à gestão do espaço construído (BARBOSA, 2005).

3.3 Ilhas de Calor

Dentre as alterações provocadas pela expansão populacional o aumento na temperatura nas áreas urbanas em relação ao seu entorno, fenômeno denominado Ilha de Calor Urbano (ICU), é um dos mais estudados. Conforme já exposto neste trabalho, o uso de materiais da construção civil e a supressão vegetal são os principais aspectos que modificam a temperatura superficial e do ar (BIAS et al., 2003).

Conforme Barry e Chorley (2013), os ventos e a topografia são elementos relevantes na formação de Ilhas de Calor Urbano (ICU), pois ventos com baixas velocidades intensificam o aumento da temperatura, podendo inclusive gerar um microclima dentro das áreas urbanizadas, produzindo seu próprio sistema de circulação de ar local. Na Figura 2, pode-se observar a dinâmica da variação de temperatura e ocorrência de ICU.

Figura 2- Dinâmica da Ilha de Calor Urbana



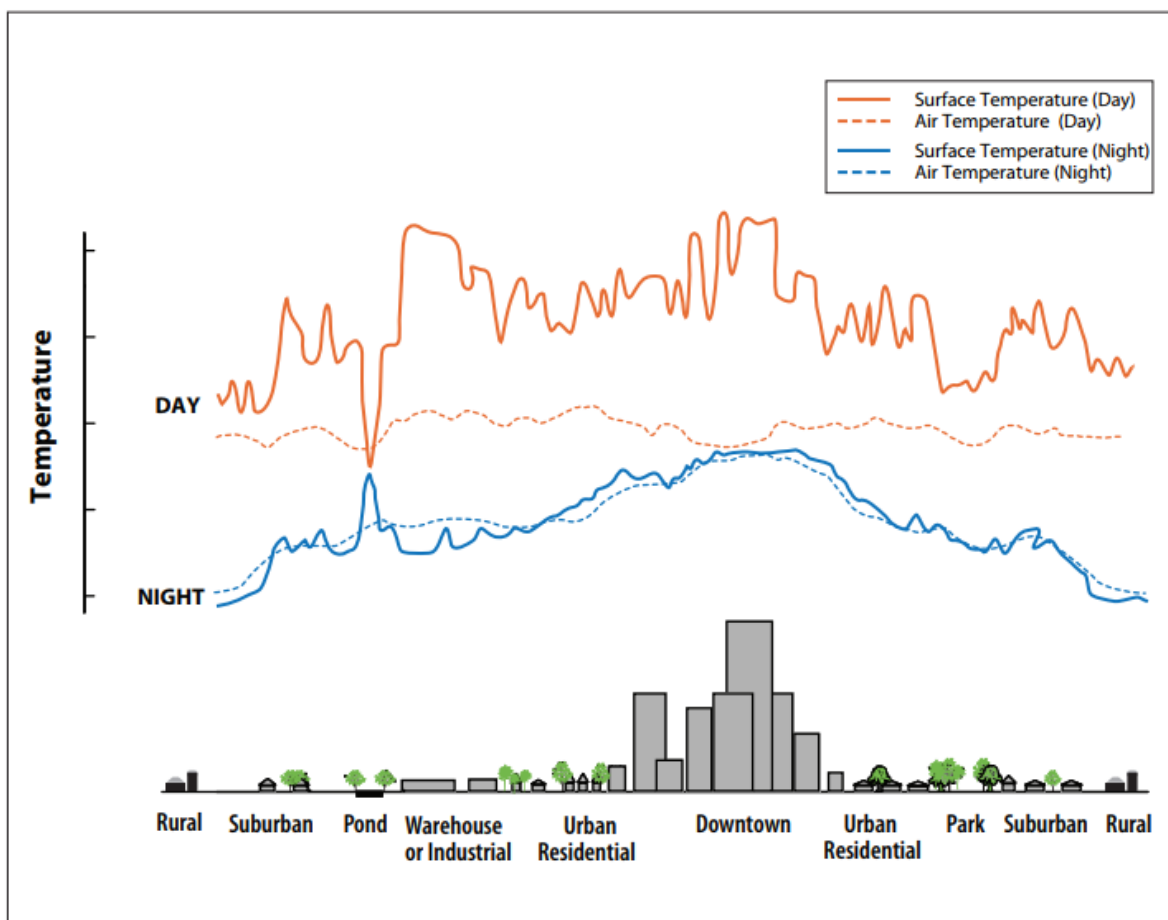
Fonte: (EPA, 2008).

Nesse cenário de mudanças de temperatura no território urbano, Lang e Blaschke (2009) expõe que as áreas verdes se tornam importantes elementos e mitigação, contribuindo para o equilíbrio de temperatura e circulação de ar, além do impacto positivo na satisfação dos moradores. Segundo Santos (2007), além de amenizar o calor, a vegetação na área urbana amplia a área para infiltração pluvial. Em seu estudo, o autor também verifica que áreas que absorvem menos radiação, com topografias angulosas ou próximas a corpos d'água, apresentam menor temperatura superficial.

Dentro do clima urbano há as medidas de temperatura do ar e temperatura da superfície. Apesar de diferentes em sua intensidade e comportamento, as temperaturas do ar e da superfície apresentam relação entre si, conforme pode-se observar na **Figura 3**. Essa relação é resultado do balanço térmico, pois áreas extremamente urbanizadas da mesma forma que terá uma superfície com baixo albedo e maior temperatura, também apresentará condições atmosféricas com maior influência antrópica, que também deve ocasionar o aumento da temperatura. O mesmo vale para áreas com vegetação, como parques, pois tanto sua superfície quanto a atmosfera terão temperaturas mais amenas (EPA, 2008).

As temperaturas do ar e superficial têm comportamentos diferentes durante o dia e a noite, conforme demonstra-se na Figura 3. Enquanto durante o dia a temperatura superficial é significativamente maior que a temperatura do ar, durante a noite a diferença entre elas é estreita. Durante a noite as ilhas de calor da atmosfera ocorrem com maior frequência, devido a liberação de calor pelas edificações (AMORIM; NETO E DUBREUIL, 2009).

Figura 3 - Relação entre temperatura do ar e da superfície durante o dia e a noite



Fonte: (EPA, 2008)

Tendo em vista as distinções entre temperatura superficial e do ar, no Quadro 2 a United States Environmental Protection Agency (EPA) apresenta as diferenças entre as ilhas de calor da superfície e da atmosfera. Conforme Amorin, Neto e Dubreuil (2009), a medição da temperatura do ar mostra-se importante para a caracterização do clima local, porém o uso do sensor termal para modelar a temperatura superficial é vantajoso por quantificar a temperatura dos alvos terrestres, podendo-se verificar, além da temperatura superficial, a eficiência da materiais de construção civil, no que se refere à emissividade e capacidade de armazenar calor.

Quadro 2 - Diferenças entre as ICU da superfície e atmosfera

Característica	ICU na superfície	ICU na atmosfera
Desenvolvimento Temporal	Presente em todos os momentos do dia e da noite Mais intensa durante o dia e no verão	Pode ser pequena ou inexistente durante o dia Mais intensa à noite ou antes do amanhecer e no inverno
Intensidade do pico	Maior variação espacial e temporal: dia: 18 a 27 ° F (10 a 15 ° C) noite: 9 a 18 ° F (5 a 10 ° C)	Menor variação: dia: -1,8 a 5,4 ° F (-1 a 3 ° C) noite: 12,6 a 21,6 ° F (7 a 12 ° C)
Método de identificação	Medição indireta Sensoriamento remoto	Medição direta Estações meteorológicas fixas Percursos móveis
Descrição dos resultados	Mapa de temperatura	Mapa isotérmico Gráfico de temperatura

Fonte: Adaptado de United States Environmental Protection Agency (EPA, 2008)

3.4 Geotecnologias

As geotecnologias e os métodos de processamento de informações geográficas permitem a conexão de diferentes dados georreferenciados, possibilitando uma análise integrada e multitemporal (LANG; BLASCHKE, 2009). O conjunto de técnicas e tecnologias denominadas geotecnologias, são descritas por Rosa (2005) como ferramentas de coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. Ademais, o autor destaca as principais geotecnologias utilizadas: Sistemas de Informação Geográfica (SIG), cartografia digital, sensoriamento remoto, Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e a topografia georeferenciada.

3.4.1 Geoprocessamento

Camara e Davis (2001) definem o geoprocessamento como a área da ciência que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Os autores salientam que os avanços da tecnologia da informática, a partir da segunda metade deste século, propiciaram o surgimento do geoprocessamento, o qual vem contribuindo progressivamente em áreas como Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

Segundo Miranda (2005), os SIG são ferramentas que auxiliam na avaliação das simulações de cenários e seus respectivos impactos ambientais, podendo ser utilizados com segurança na observação de mudanças geofísicas, em áreas urbanas e rurais, auxiliando na estimativa de potenciais usos, bem como a modelagem das interações dos vários componentes ambientais que formam a paisagem estudada.

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Apresentam ampla gama de aplicações, que inclui temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia) (CAMARA, 1995). O autor elenca também as três utilizações onde os SIG são mais aplicados: ferramenta para produção de mapas; suporte para análise espacial de fenômenos; banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e; recuperação da informação espacial. De acordo com Lang e Blaschke (2009), com o geoprocessamento é possível representar e analisar situações reais e a estrutura da paisagem, avaliar intervenções, projetar cenários espaciais e realizar modelagens ambientais.

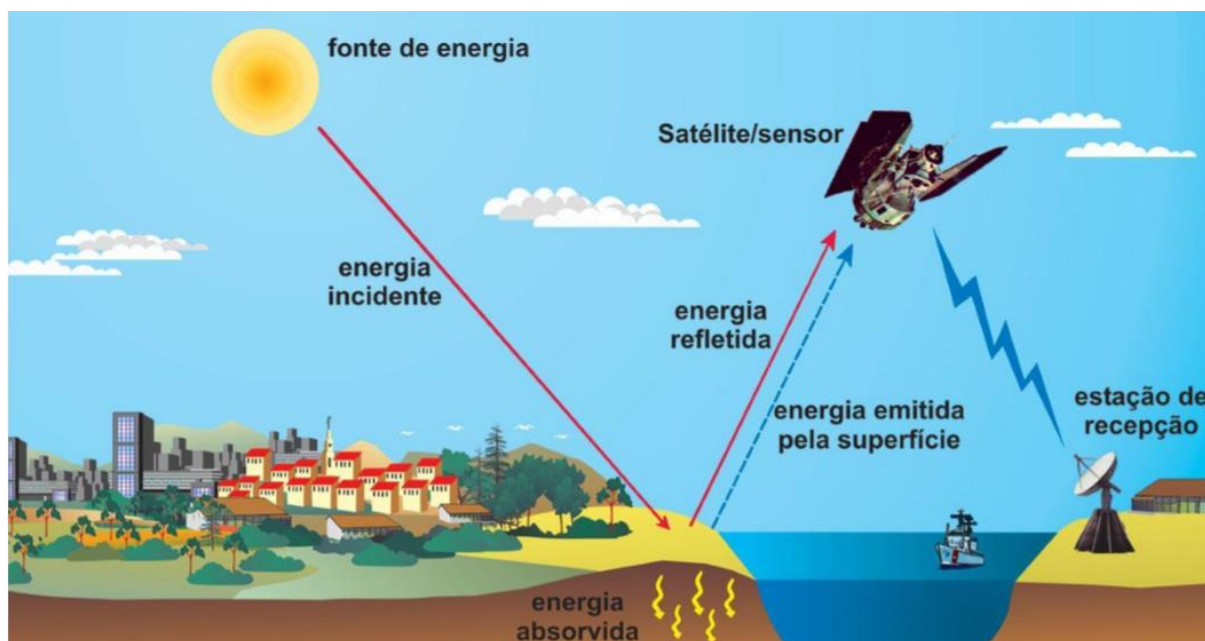
3.4.2 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto pode ser definido como qualquer processo através do qual é coletada informação a respeito de um objeto, área ou fenômeno, sem entrar em contato com ele (ECKHARDT, 2008). O autor associa o sensoriamento remoto às interações entre os alvos da superfície terrestre e a energia eletromagnética e ressalta que os radiômetros são os equipamentos responsáveis pela medição dessa radiação.

Os sensores são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinadas faixas do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, seja na forma de imagem, na forma gráfica ou qualquer outro produto (MOREIRA, 2007).

Mendes (2013) subdivide o sensoriamento remoto em cinco componentes: fonte de energia eletromagnética; meio de transmissão; alvo na superfície da Terra; sensor e plataforma; e sistema de processamento. Os objetos da superfície terrestre absorvem e transmitem radiação eletromagnética em diferentes comprimentos de onda, conforme pode-se observar da Figura 4.

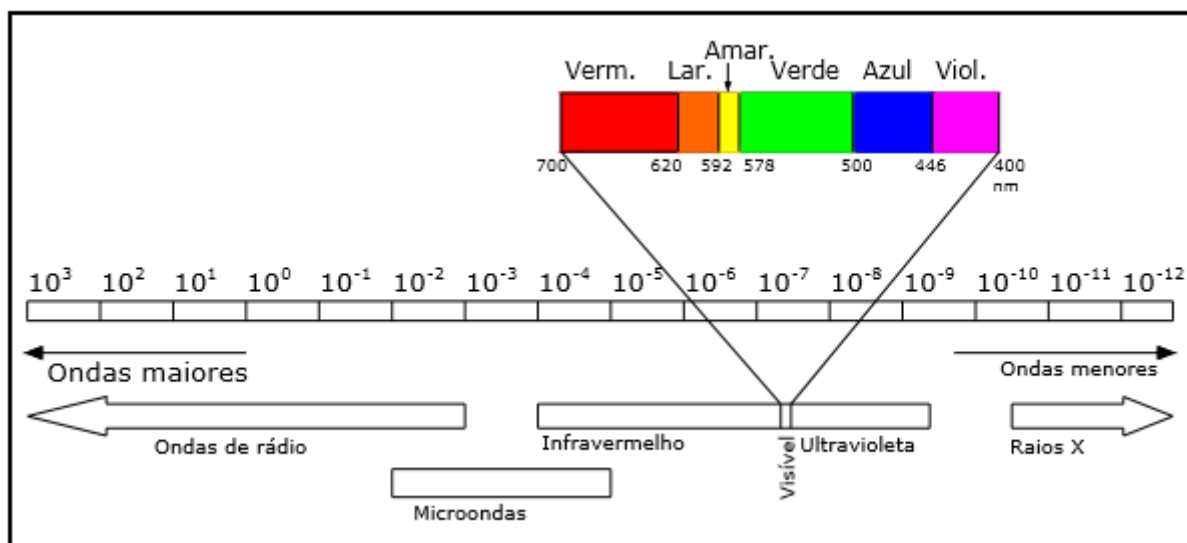
Figura 4 - Dinâmica do Sensoriamento Remoto



Fonte: Global Housing do Brasil, 2015.

Segundo Novo (1993), toda matéria com uma temperatura absoluta acima de 0°K emite energia. Dessa forma, todo corpo com uma temperatura absoluta acima de zero absoluto pode ser considerado uma fonte emissões de radiação. O sensoriamento remoto pode ser aplicado em estudos de aspectos culturais da superfície terrestre, na avaliação de recursos hídricos e na geografia, com o monitoramento do uso da terra.

De acordo com Moreira (2005), um dos princípios do sensoriamento remoto é a energia solar, pois o Sol emite radiações eletromagnéticas, que podem ser absorvida, refletida, transmitida e emitida seletivamente pelo alvo. As radiações eletromagnéticas, variam de acordo com a frequência e comprimento de onda. Na Figura 5 é apresentado o espectro eletromagnético, em função dos diferentes comprimentos de onda e da frequência. O espectro eletromagnético, conforme Florenzano (2011), representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência, e o espectro abrange desde curtos comprimentos de onda (raios cósmicos e raios gama) até longos comprimentos de onda como as ondas de rádio e tv.

Figura 5 - Espectro eletromagnético

Fonte: Giacomoni (2005)

Conforme Mendes e Almeida (2012), a energia emitida por determinado corpo tem ligação, além de outros aspectos, com a sua temperatura e a emitância radiante tem relação direta não linear com a temperatura. Dessa forma, uma variação na temperatura de um objeto resulta também na variação de emissão de radiação. De acordo com Coltri (2006), estudos de clima urbano e de ilhas de calor vêm se tornando mais comuns e se tornando importantes na área do sensoriamento remoto. Isso se deve a possibilidade de percepções em diferentes escalas e a capacidade a transformação de dados do infravermelho termal em temperatura aparente de superfície.

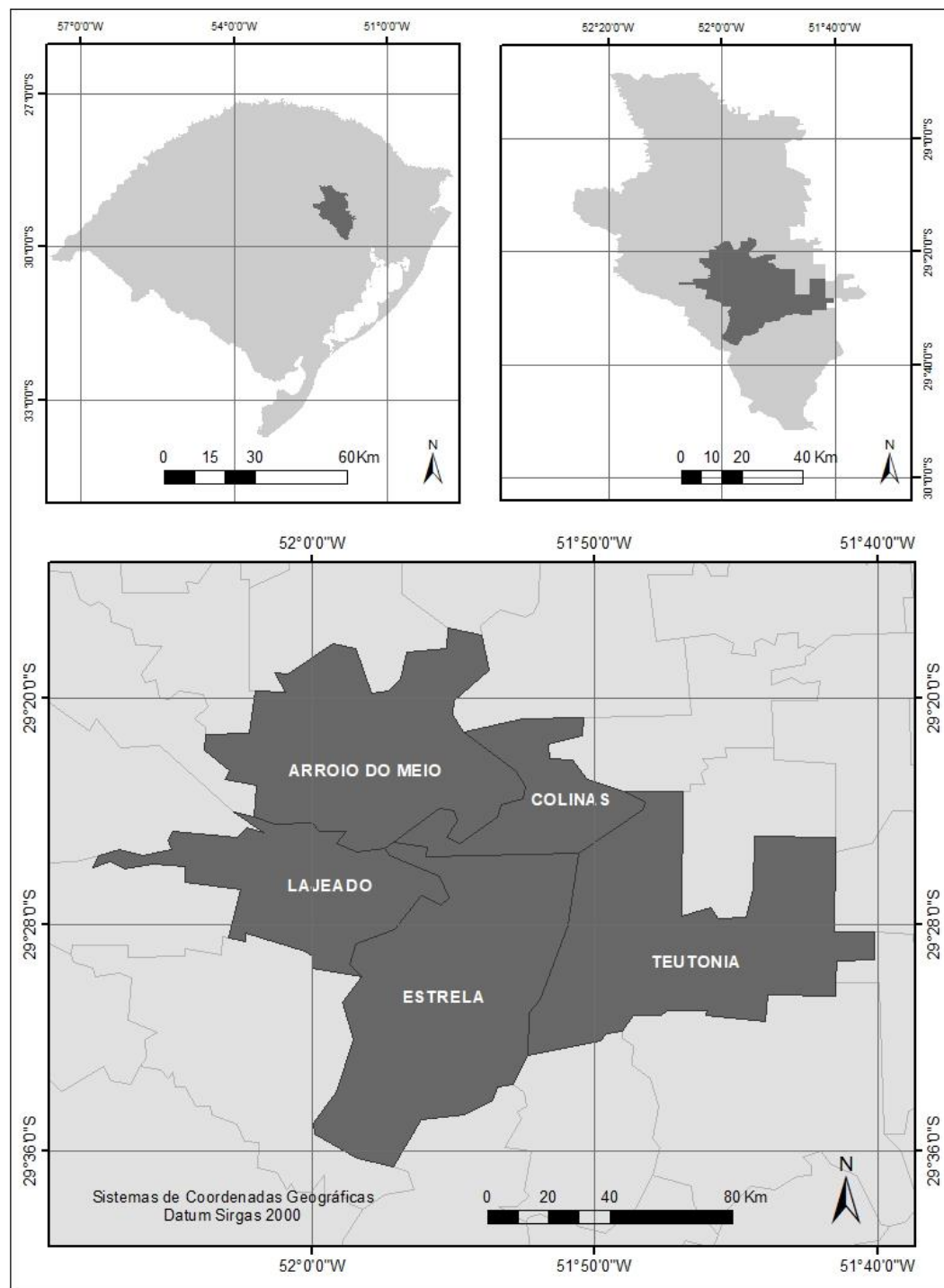
4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O Vale do Taquari está localizado na região centro-leste do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo 36 municípios, num total de 4.826,4 km² e 356.002 habitantes (Figura 3). No presente estudos foram analisadas as áreas correspondente aos municípios de Arroio do Meio, Estrela, Lajeado, Colinas e Teutônia, localizados na região central do Vale do Taquari. Esses quatro municípios correspondem a aproximadamente de 14% do território do Vale, e concentram cerca de 43% da população (FEE, 2016).

Essa região, localizada entre as coordenadas 29°17'34''S e 29°36'32''S, 51°40'02''W e 52°07'53''W, foi escolhida por representar a área do Vale do Taquari com maior urbanização, desenvolvimento industrial e densidade demográfica, presentes também amostras de regiões de área urbana e de morros. A amostra apresenta, além de áreas consolidadas urbanizadas, locais de área rural e com relevo acidentado.

Figura 6 - Mapa de localização do Vale do Taquari

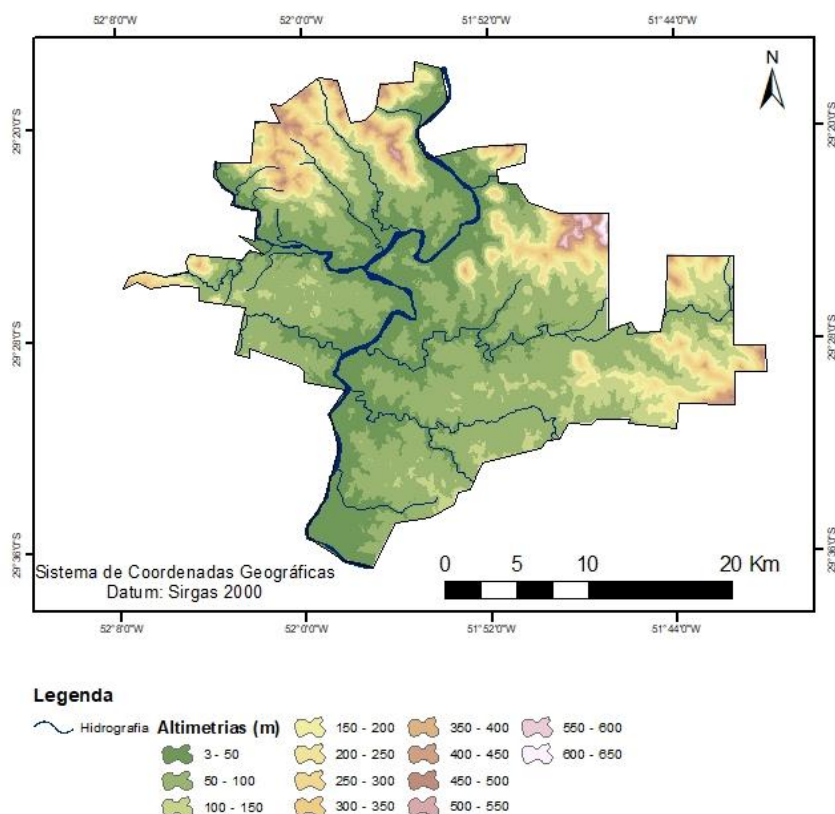


Fonte: Da autora.

De acordo com a Classificação Internacional de Köppen, o clima do Vale do Taquari encontra-se dentro da zona fundamental temperada úmida "Cf". Dentro dessa classificação a maior parte do território pode ser enquadrado em "Cfa" (subtropical úmido com verão quente). Apresentando chuvas bem distribuídas ao longo do ano e temperatura média no mês mais quente superior a 22°C. Diedrich, Ferreira e Eckhardt (2007) em seu estudo verificaram que na porção norte do Vale do Taquari as temperaturas média anual está entre máximas de 16,75°C, e mínima de 11,67°C, enquanto a média máxima anual é de 21,8°C. Já na porção sul, a temperatura média anual é de 19,61, média mínima é de 14,43°C e a média máxima é de 26°C.

O Vale do Taquari está inserido na Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas, RS. Conforme Eckhardt et al. (2007), a região do Vale do Taquari possui uma ampla e densa hidrográfica, com área corresponde a 2,35% da área total do Vale. Ao que refere-se a altimetria, a área de estudo, localizada na região centro-sul do Vale do Taquari, apresenta uma variação altimétrica de 3 a 650 metros em relação ao nível do mar, conforme pode-se observar na Figura 7. Em sua maior parte a altitude fica em torno de 50 a 100 metros em relação ao nível do mar, apresentando maior altitudes nos topos de morro e as menores próximas aos corpos hídricos.

Figura 7 - Altimetria da área de estudo



Fonte: da autora, adaptado de INPE (2018).

4.2 Materiais

Para o desenvolvimento do presente estudo serão utilizados os dados e softwares, conforme descrito abaixo.

Dados:

- Dados históricos de temperatura, precipitação, ventos, umidade e radiação da estação meteorológica do NIH da Univates;
- Imagens dos sensores Landsat 5 e Landsat 8 da USGS;
- Bases vetoriais de limites municipais e hidrografia;

Softwares:

- ArcGis 10.3;
- Idrisi 16.3;
- Multispec;
- Microsoft Excel.

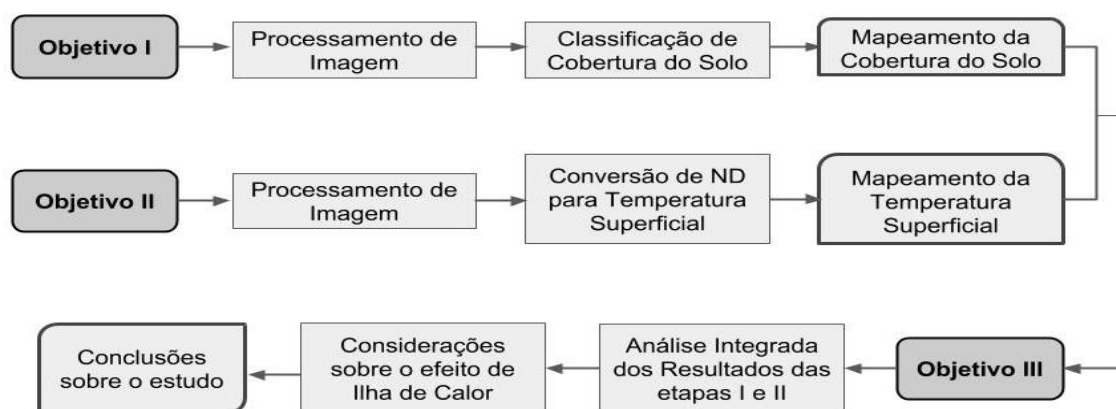
4.3 Procedimentos Metodológicos

O presente estudo foi fundamentado na pesquisa sobre clima local e comportamento de ilhas de calor e temperatura superficial terrestre medida por meio de sensoriamento remoto. Para isso, iniciou-se pela pesquisa documental de referencial bibliográfico. A segunda etapa foi baseada na coleta de dados, momento em que se realizou a seleção e aquisição das imagens de satélite a serem utilizadas para as etapas seguintes, referentes à classificação de ocupação do solo e mapeamento da temperatura superficial. Tal seleção de dados ocorreu concomitante à observação de dados meteorológicos da região e caracterização da área de estudo, relação que se fez necessária para acurar a qualidade dos dados utilizados.

Para o mapeamento de uso e cobertura do solo e da temperatura superficial foram utilizadas imagens dos satélite Landsat 5 e Landsar 8, nas órbitas 221-80 e 221-81. As imagens foram acessadas no catálogo de imagens da disponibilizadas gratuitamente pelo Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS, 2018).

A Figura 5 apresenta as etapas do processo metodológico do presente estudo. A seguir serão detalhados os procedimentos que foram empregados no mapeamento do uso e cobertura do solo e da temperatura superficial.

Figura 8 - Fluxograma metodológico



Fonte: da autora.

4.3.1 Uso e cobertura do solo

Para a classificação do uso e cobertura do solo foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 das imagens do sensor Landsat 5 e bandas 4, 5 e 6 do sensor Landsat 8, empregando a composição colorida RGB/5-4-3 e 6-5-4. O pré-tratamento da imagem foi realizado no *software* ArcGis 10.3, iniciando pela composição das imagens na combinação RGB, seguido do mosaico das cenas e posterior extração da área onde se aplica o presente estudo.

O processo de classificação das imagens foi realizado nos *softwares* MultiSpec e Idrisi. Para tanto, realizou-se a classificação supervisionada das imagens, a partir da coleta de amostras das classes de ocupação, com base na interpretação visual das tonalidades, forma, textura e comportamento espectral das imagens analisadas no *software* MultiSpec. Foram reunidas amostras de teste e treinamento para as classes de Agricultura e Pastagem, Florestas, Recursos Hídricos e Solo Exposto, classificadas a partir do algoritmo Máxima Verossimilhança.

Subsequentemente, as imagens classificadas de acordo com os critérios supracitados foram manejadas no *software* Idrisi, no qual foram delimitadas as manchas urbanas por vetorização e realizada a integração destas com o mapa de cobertura do solo. Quanto às

características das classes determinadas, as áreas de agricultura e pastagem contemplam as áreas agrícolas, de campos e pastagem da região; as áreas de florestas abrangem todas as tipologias de formações vegetais; os recursos hídricos englobam os rios e corpos hídricos; as áreas de solo exposto compreendem solos sem a presença de cobertura de vegetação, cultivos agrícolas ou pastagem. As manchas urbanas foram delimitadas considerando os centros urbanos e maior ocupação nos municípios estudados, com cobertura predominantemente por edificações e sistema viário.

O mapa resultante dessa manipulação no *software* Idrisi foi concluído no ArcGis, para padronização dos produtos cartográficos. Além disso, foi também realizada a mensuração e tabulação dos dados, possibilitando análise quantitativa das informações geradas por meio do *software* Microsoft Excel, onde foram verificadas as áreas respectivas proporções de cada classe de ocupação do solo.

Como resultado desta etapa metodológica, obteve-se três mapas de cobertura do solo, um para cada ano analisado, além de dados quantitativos de área correspondente a cada tipo de classe. Esses dados e mapas, juntamente com os demais resultados foram utilizados para análise do comportamento de temperatura superficial e identificação de ilhas de calor da área de estudo.

4.3.2 Temperatura Superficial

Para mapeamento da temperatura superficial utilizou-se as bandas termais das imagens digitais capturadas pelos sensores dos satélites Landsat 5 e Landsat 8, possuem resolução espacial de 120 metros e 100 metros, respectivamente, são disponibilizadas gratuitamente pelo Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS, 2018). O comprimento de onda referente ao infravermelho termal ($10,4 - 12,5 \mu\text{m}$), representado pela banda 6 no Landsat 5 e banda 10 no Landsat 8, capta a radiação emitida pela superfície terrestre, que por sua vez possibilita o estudo da temperatura por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

A fim de conferir às discussões dos resultados uma análise entre os diferentes anos, buscou-se a homogeneidade nas condições climáticas dos dias de captura das imagens. Com isso, observando aspectos como a frequência de passagem do satélite e a ausência de nuvens e

interferências, se obteve as amostras utilizadas no presente estudos, conforme Tabela 2, que apresenta as condições climáticas no momento de obtenção das imagens.

Tabela 2 - Condições climáticas das imagens utilizadas

Data da Imagem	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Vel. Máx. Ventos (km/h)	Dir.	Precipitação (mm)	Rad. Solar (W/m ²)
11/02/2004	24,6	66	20.9	NNE	0	417
07/01/2009	24,7	62	22.5	NNE	0	630
17/02/2018	24,0	78	9.7	E	0	649

Fonte: da autora.

Iniciou-se o processamento da imagem no software ArcMap versão 10.3. Primeiramente foi realizado o mosaico das cenas, obtidas do satélite Landsat 5 e posterior a extração da área de estudo. Para a imagem do satélite Landsat 8 não se fez necessário o mosaico, haja vista que uma única cena abrangeu toda a área de estudo.

Para estimativa da temperatura superficial foi utilizada a metodologia proposta por Chander et al. (2009), a qual apresenta uma análise da conversão dos Níveis de Cinza (ND) em temperatura de brilho. Essa aplicação foi possível por meio da ferramenta *Raster Calculator* do software ArcMap. Coltri (2006), ressalta que os níveis de cinza da imagem termal representam a característica de determinado local e que para cada pixel de uma imagem há um ND correspondente à tonalidade. Para tanto, primeiramente foi realizada a conversão dos tons de cinza da imagem, com seus valores brutos e não processados, em radiância espectral absoluta pela Equação 1.

Equação 1 - Transformação de Tons de Cinza para Radiância

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}}{Q_{\text{cal max}} - Q_{\text{cal min}}} \right) (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{cal min}}) + L_{\min\lambda} \quad (1)$$

Em que: L_{λ} = Radiância espectral [W / (m² sr μm)]; Q_{cal} = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza [DN]; $Q_{\text{cal min}}$ = Valor mínimo do pixel em níveis de cinza; $Q_{\text{cal max}}$ = Valor máximo do pixel em níveis de cinza; $L_{\min\lambda}$ = Radiância espectral mínima [W / (m² sr μm)]; $L_{\max\lambda}$ = Radiância espectral máxima [W / (m² sr μm)].

A partir dos valores de radiância espectral, se calculou a temperatura de brilho do sensor em Kelvin, por meio da Equação 2. Após essa etapa os valores foram convertidos para graus

Celsius (°C), extraindo o valor absoluto de Kelvin (273,15K), tendo como produto um arquivo *raster* com as temperaturas superficiais da área de estudo. As constantes de calibração requeridas na Equação 1 e os dados de calibração utilizados na Equação 2 foram extraídos dos parâmetros das imagens TM e TIRS, disponíveis no arquivo de texto disponibilizado juntamente com as imagens. Tais dados podem ser observados na Tabela 3.

Equação 2 - Temperatura Superficial

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

Em que: T = Temperatura efetiva de brilho do sensor [K]; K2 = Constante de calibração 2 [K]; K 1 = Constante de calibração 1 [W / (m² sr μm)]; L λ = Radiância espectral na abertura do sensor [W / (m² sr μm)]; Ln = Logaritmo natural.

Tabela 3 - Características e constantes de calibração das imagens

Data da imagem	Satélite	Sensor	Órbita/Ponto	Horário de passagem	Parâmetros de Calibração
11/02/2004	Landsat 5	TM	221/80 221/81	10:30	Lmin: 1.238 Lmax: 15.303 Qcal max: 65535 K1: 607.76 K2: 1260.56
07/01/2009	Landsat 5	TM	221/80 221/81	10:30	Lmin: 1.238 Lmax: 15.303 Qcal max: 65535 K1: 607.76 K2: 1260.56
17/02/2018	Landsat 8	TIRS	221/80	10:00	Lmin: 0.10033 Lmax: 22.0018 Qcal max: 65535 K1: 774.8853 K2: 1321.0789

Fonte: da autora, adaptado de USGS, 2018.

Posteriormente, foi extraída a tabela de atributos do arquivo *raster* de temperatura superficial, a partir da qual foi possível organizar os dados e calcular a área referente às diferentes temperaturas mapeadas. A partir desses dados, foi realizada uma comparação entre as temperaturas superficiais mapeadas com as temperaturas medidas pela estação meteorológica da Univates, para fim de verificação dos resultados e comportamento da temperatura superficial em relação à temperatura atmosférica. Os produtos gráficos desta etapa metodológica foram mapas temáticos de temperatura dos três anos analisados, que assimilados

às características e cobertura do solo da área de estudo, possibilitaram a análise espacial do comportamento térmico superficial.

4.3.3 Análise das Ilhas de Calor

A análise das ilhas de calor se baseou na observação integrada dos resultados de temperatura superficial terrestre, ocupação do solo e morfologia da região estuda. Conforme Oke (1974) a principal característica de ilhas de calor é a variação de temperatura entre as áreas urbana e rural, que por conseguinte também irá definir as regiões de frescor. Dessa forma, a quantificação dessa diferença térmica foi a metodologia utilizada, com base na equação 3.

Equação 3- Determinação da Variação de Temperatura

$$\Delta T = T_{\text{urbana}} - T_{\text{rural}} \quad (3)$$

Considerou-se também as características dos dias em que as imagens utilizadas no estudo foram captadas, com o objetivo de compreender o comportamento térmico da superfície em relação às condições climáticas atmosféricas. Por fim, foi realizada a análise da influência da cobertura do solo na variação térmica da superfície, ponderando os impactos gerados e possíveis ações para que as alterações climáticas em escala local sejam consideradas como aspecto do planejamento urbano organização territorial.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Mapeamento Cobertura do Solo

Os mapas de ocupação do solo para os anos de 2004, 2009 e 2018 são apresentados na Figura 9. Verificou-se pelo coeficiente de concordância que a classificação das classes de água e vegetação tiveram melhor desempenho. Além disso, verificou-se nas áreas referentes às classes de cobertura do solo, diferentes cenários, indicando o predomínio das áreas referentes à Agricultura e Pastagem, seguidas pela classe de Florestas, Área Urbana e Solo Exposto, respectivamente, conforme é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantitativo de áreas por classes de cobertura do solo.

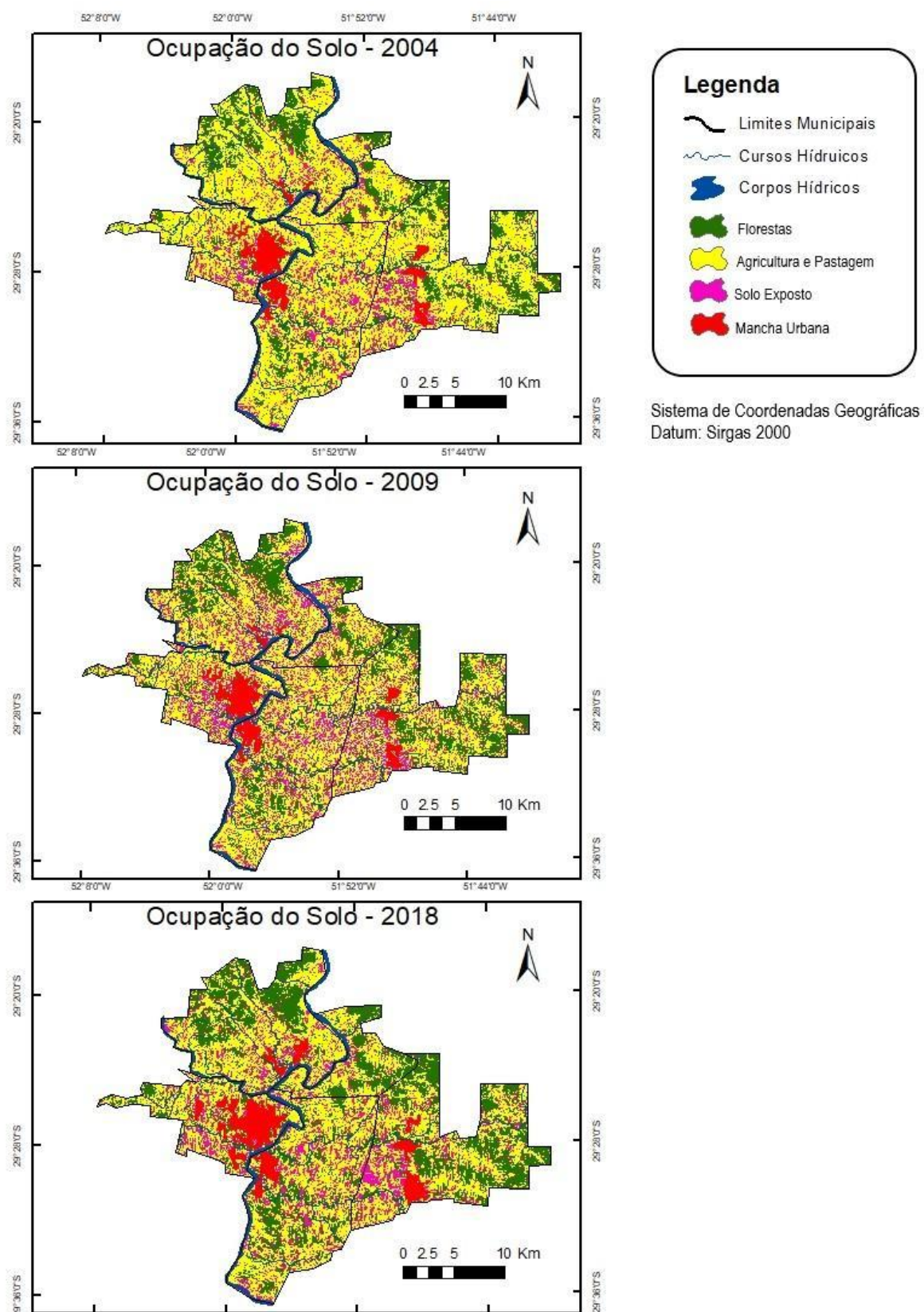
	2004		2009		2018	
Recursos Hídricos	9.1314	1.4%	11.3454	1.7%	7.7562	1.2%
Agricultura e Pastagem	407.055	60.8%	301.1823	45.0%	312.5304	46.6%
Florestas	137.8998	20.6%	151.6302	22.6%	196.9524	29.4%
Solo Exposto	89.8209	13.4%	178.8955	26.7%	112.5607	16.8%
Manchas Urbana	26.1297	3.9%	26.984	4.0%	40.2003	6.0%

Fonte: da autora

O mapeamento de ocupação do solo indica que o processo de urbanização da região seguiu nas adjacências das áreas já urbanizadas. Essa expansão urbana é apoiada pelos dados do censo do IBGE, que para a região, estima um crescimento populacional de 28.336 habitantes de 2004 para 2018 (IBGE, 2018).

Embora as áreas de Agricultura e Pastagem variem na análise temporal, somadas elas representam uma porção similar nos diferentes anos estudados. Tal observação pode ser justificada, pois algumas áreas rurais tiveram seus usos variados em diferentes períodos. Dessa forma, áreas que por vez estavam recebendo plantio, podem apresentar em outro período características de solo exposto, devido à falta de cultivo. Quanto às áreas de vegetação, há maior concentração nos topos de morro, com ocorrências pontuais nas proximidades das manchas urbanas e relativa distribuição nas áreas rurais, próximas à classe de Agricultura e Pastagem.

Figura 9- Mapas de Uso e Cobertura da Terra da área central do Vale do Taquari, RS, nos anos de 2004, 2009 e 2018



Fonte: da autora.

5.2 Temperatura Superficial

Por meio do mapeamento da temperatura superficial da região, foi possível compreender a dinâmica de variação térmica, conjecturando como os fatores e elementos climáticos que atuam na área de estudo da presente pesquisa. Na Tabela 5, pode-se vislumbrar o comparativo da temperatura superficial terrestre mapeada (T Superf.) com a temperatura atmosférica (T Atmosf.) no momento de captação da imagem. A partir dessa relação é possível ratificar as referências já citadas, como EPA (2008), ao expor que a superfície tende a apresentar valores mais altos de temperatura quando comparados à temperatura atmosférica.

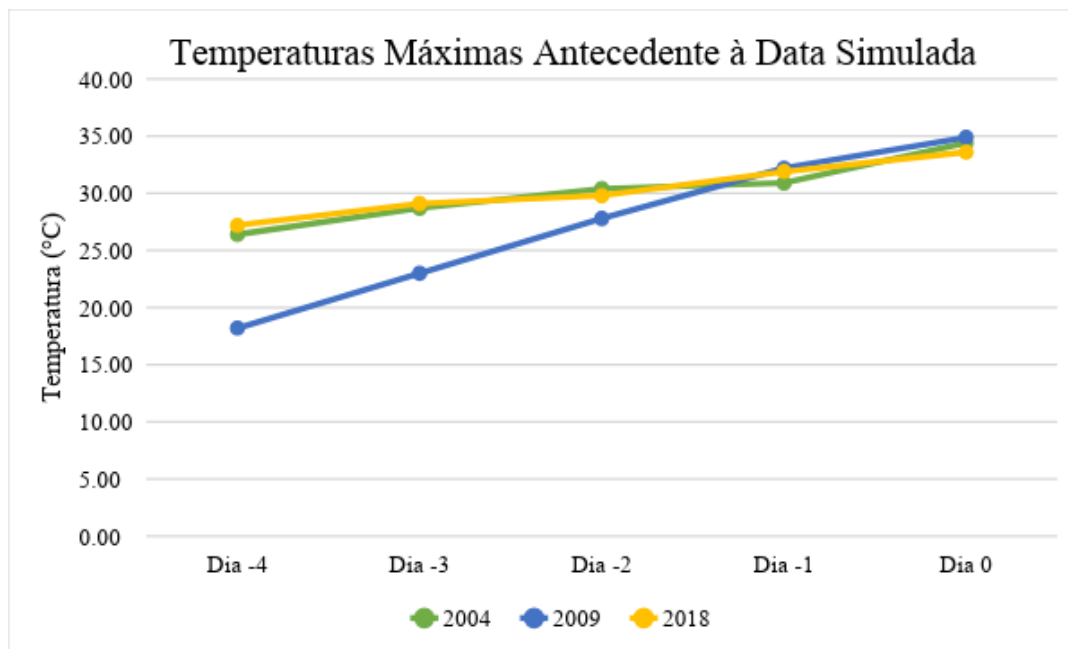
Tabela 5 - Comparação da Temperatura Superficial

Data	T Atmosf.	T Atmosf. Máx	T Superf.	Umidade (%)	Vel. Máx. Ventos (km/h)	Dir. Ventos	Precipitação (mm)	Rad. Solar (W/m ²)
11/02/2004	24,6	34,4	28,76	66	20,9	NNE	0	417
07/01/2009	24,7	34,9	32,05	62	22,5	NNE	0	630
17/02/2018	24,0	33,7	28,74	78	9,7	E	0	649

Fonte: da autora.

No que refere-se aos dados apresentados na Tabela 5, é possível perceber que a imagem referente ao ano de 2009 apresenta um comportamento diferente das outras duas. Para analisar tal comportamento, cabe ressaltar, que a temperatura superficial pode sofrer influência de diversos fatores e tende a apresentar variação mais amplas que as temperaturas atmosféricas. Enquanto em 2009, mesmo com valores de temperatura, umidade e radiação solar similares aos do ano de 2018, verificamos que as massas de ar tiveram um comportamento divergente. Além disso, no Gráfico 1 podemos verificar que os dias que antecederam a captura da imagem, já apresentavam características de tempo díspar dos outros dois dias.

Considerando o acima exposto e a complexidade da dinâmica climática que envolve a interação entre seus diferentes elementos e fatores, pode-se comprovar que mesmo com temperaturas atmosféricas, no momento da captura da imagem de satélite, extremamente similares, as amostrar podem não representar períodos diários parecidos, no que refere-se ao tempo.

Gráfico 1 - Temperaturas Máximas Antecedentes à Data Simulada

Fonte: da autora

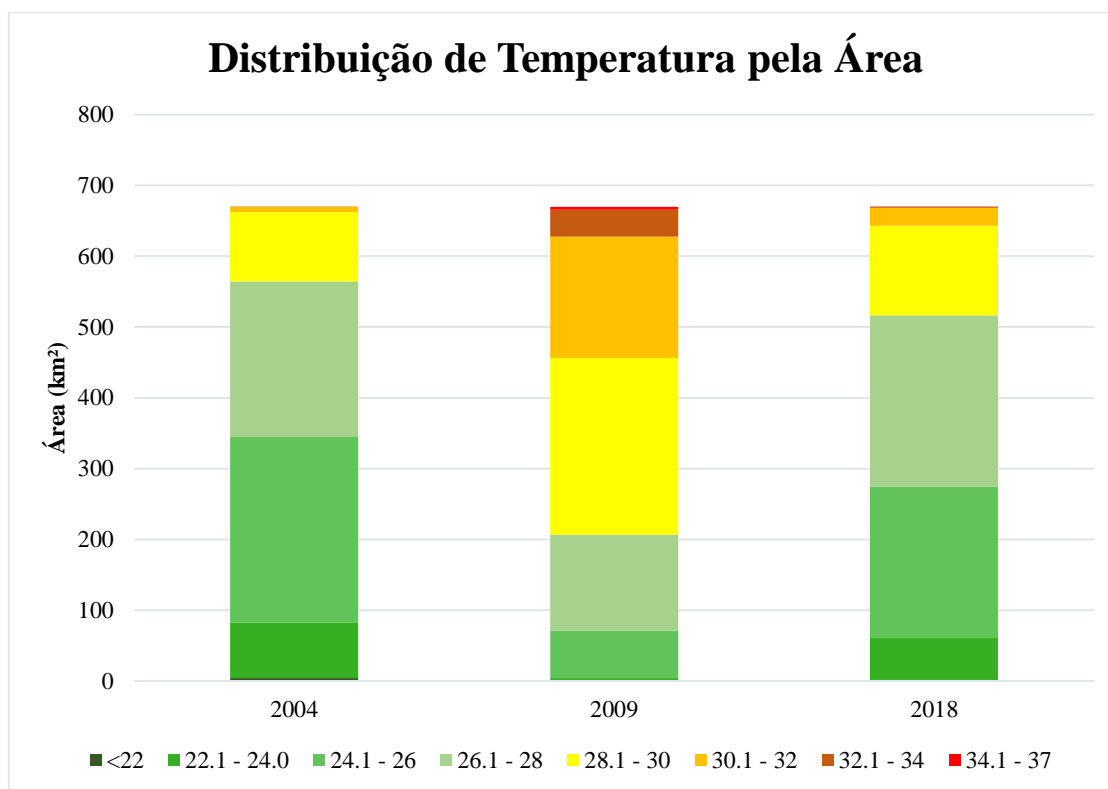
Na Tabela 6, são apresentadas as variações estatísticas de temperatura superficial mapeadas no local de estudo. Em 2004 os valores apresentam amplitude térmica de 13°C, já 2009 essa variação aumenta para 15°C e em 2018, 14°C. No Gráfico 2, é apresentada a área (km²), resultante da ocorrência de uma temperatura.

Tabela 6 - Variação Térmica Superficial Mapeadas

Estatística	T (°C) 2004	T (°C) 2009	T (°C) 2018
Mínima	20,00	22,00	21,00
Média	25,54	28,38	26,04
Máxima	33,00	37,00	35,00
Desvio padrão	1,78	2,08	1,93

Fonte: da autora

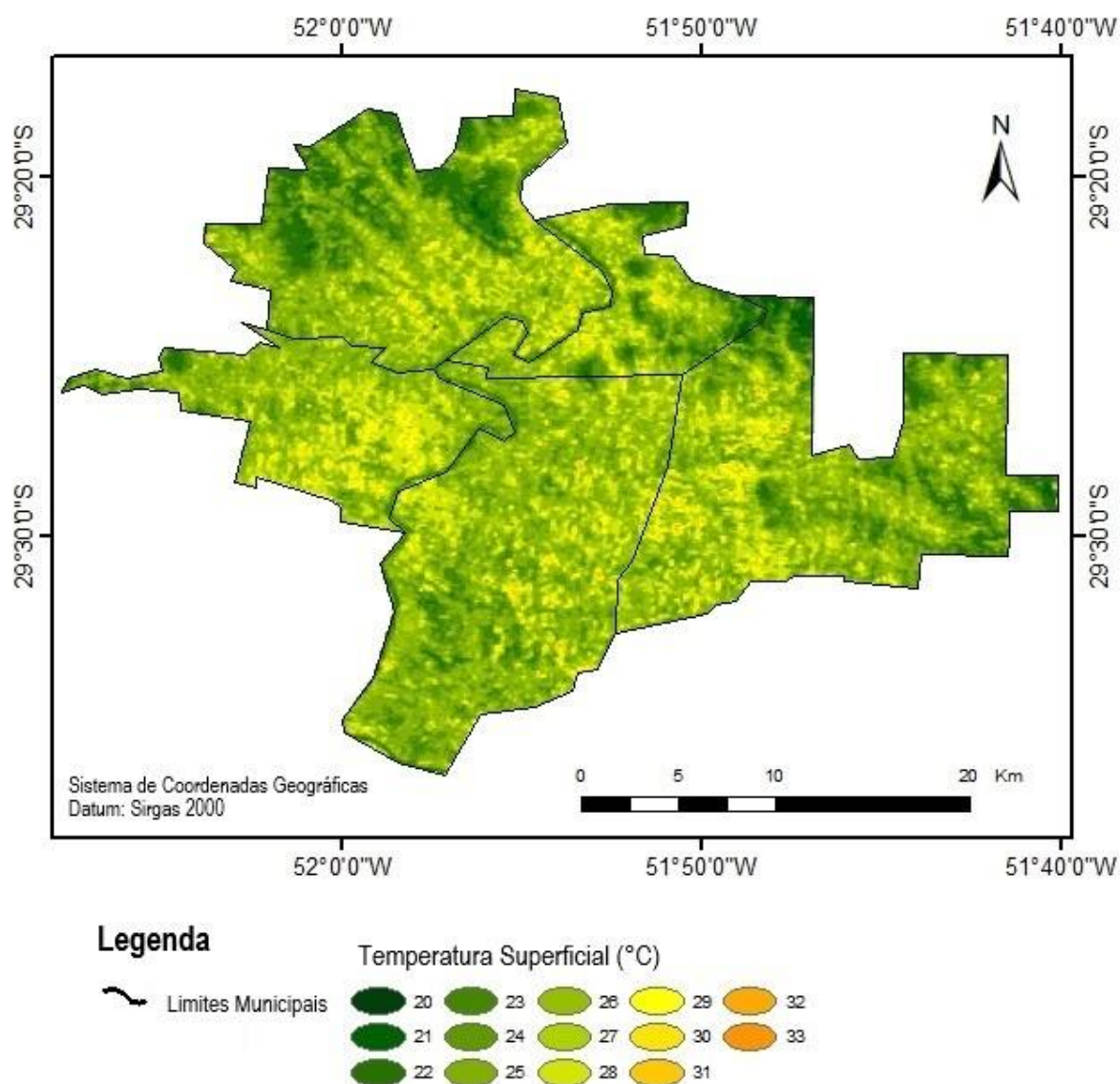
Gráfico 2 - Distribuição de Temperatura pela Área nos anos de 2004, 2009 e 2018.



Fonte: da autora.

Na Figura 10 é apresentado o mapeamento da temperatura superficial do dia 11/02/2004. As regiões de frescor e temperaturas mais brandas foram identificadas em áreas rurais e em topos de morros. Com isso, pode-se verificar que, considerando o relevo da região de estudo, a variação de altitude se mostra de muita relevância no comportamento da temperatura superficial. Dentre os anos estudados, o de 2004 foi o que apresentou menor variação térmica dentre as áreas rurais e urbanas, conforme já citado. É possível comprovar por observação da imagem que as áreas com maior ocupação humana, seja por uso agropecuário ou urbano, são onde ocorrem as maiores temperaturas.

Figura 10 - Temperatura Superficial da Área Central do Vale do Taquari no Ano de 2004



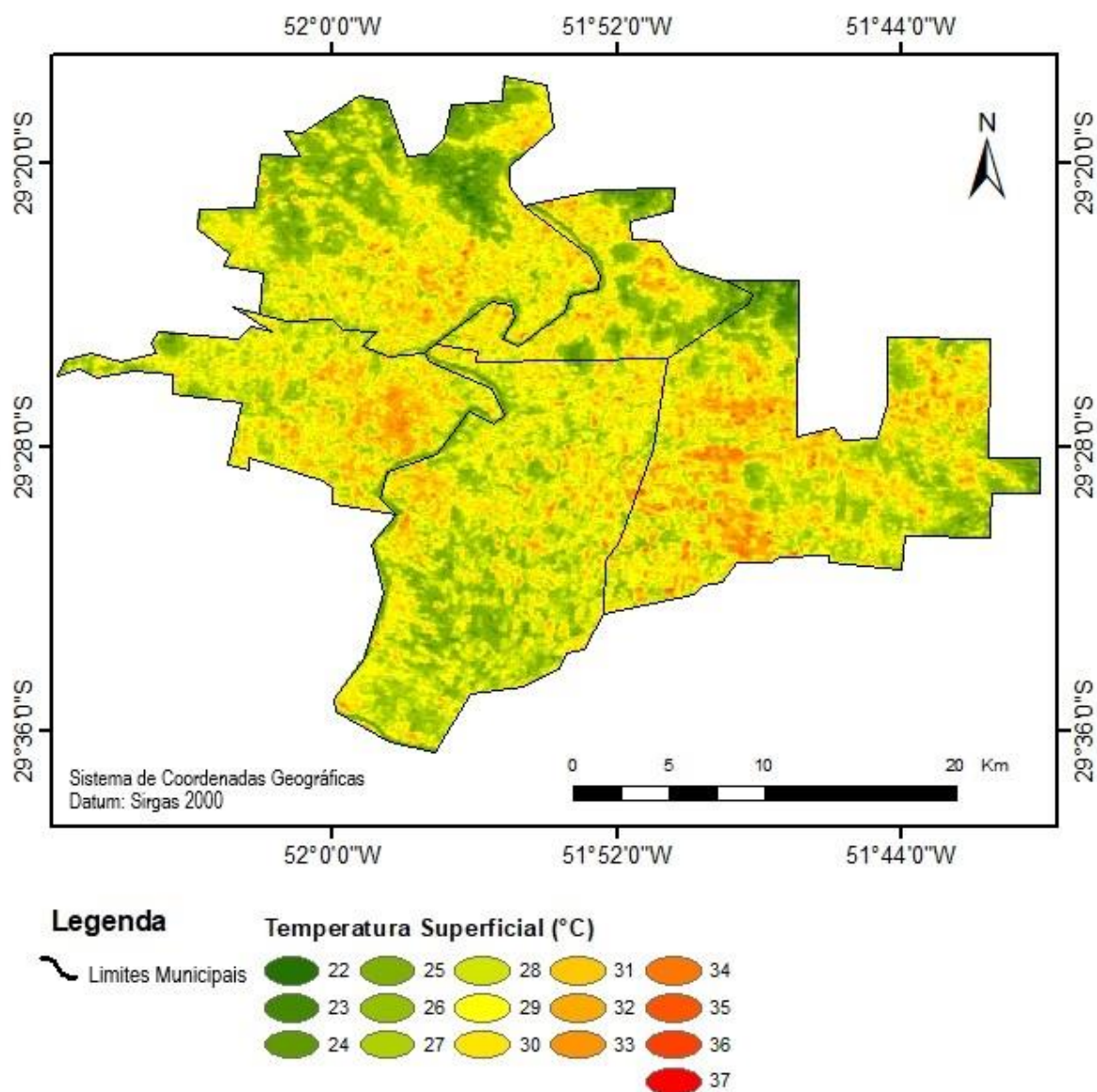
Fonte: da autora.

Na Figura 11, que representa a temperatura superficial da região estudada, na imagem captada no ano de 2009, é possível perceber que novamente a ocorrência das maiores temperaturas está concentrada nas áreas urbanas. Enquanto isso, as menores temperaturas são observadas nas regiões periféricas, principalmente naquelas onde há maior presença de vegetação e apresenta os valores de altimetria mais altos.

Em 07/01/2009, quando foi captada a imagem utilizada, houve pouca ocorrência de ventos, com alto nível de radiação solar. Além disso, conforme observado anteriormente, esse dia possuía histórico de características climáticas diferentes dos demais. Essa amostra apresentou as maiores temperaturas, tendo como máxima o valor de 37°C, e também a maior amplitude térmica, com variação de 15°C. O comportamento da temperatura como um todo na região

estudada se assemelha à amostra de 2004, porém a intensidade da variação térmica é perceptível com maior expressividade, o que pode indicar variação na ocupação do solo e consequente aumento na temperatura superficial.

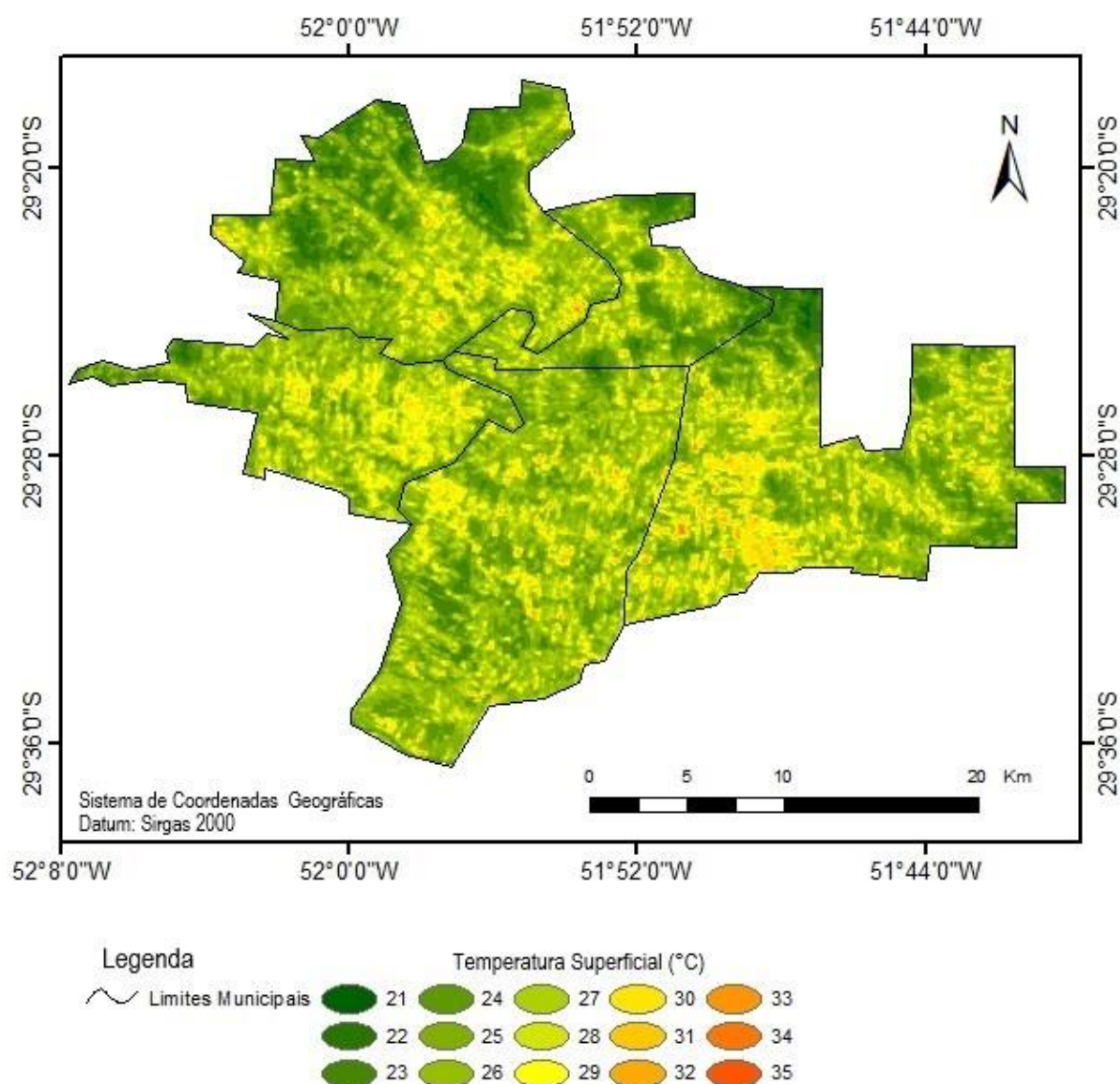
Figura 11- Temperatura Superficial da Área Central do Vale do Taquari no Ano de 2009



Fonte: da autora.

A Figura 12, representa a temperatura superficial no dia 17/02/2018, no qual novamente é possível verificar a variação térmica entre as áreas rurais e urbanas. Pode-se constatar também que frequentemente áreas de solo expostos apresentam temperaturas tão elevadas quanto às áreas urbanas. As variações de temperatura foram de 21°C a 35°C, apresentando média em torno de 25°C.

Figura 12 - Temperatura Superficial da Área Central do Vale do Taquari no Ano de 2018



Fonte: da autora.

Em comparação às três imagens, não é possível identificar um aumento na temperatura superficial em função das mudanças de ocupação do solo decorrentes dos 14 anos de diferença entre as amostras. No entanto, comprova-se que o comportamento da temperatura abrange uma série de elementos que devem ser considerados. Além disso, cabe salientar, que embora em um

primeiro momento as amostras utilizadas mostraram-se homogêneas em suas características, seus comportamentos foram diferentes.

Esses cenários indicam que o acompanhamento da evolução de temperatura por sensoriamento remoto pode ser limitado no caso de indisponibilidade de imagens com maior frequência em melhor qualidade. De forma geral, pode-se identificar o comportamento da temperatura na região e sua interação com o que podem ser considerados os principais aspectos que a influenciam, a altitude e ocupação do solo.

Embora o comportamento térmico tenha sido compreendido, ainda assim o presente estudo não indica um aumento nas temperaturas ao longo dos anos na região central do Vale do Taquari. Todavia, comprava-se que dias com maior amplitude térmica e condições climáticas desfavoráveis à dispersão atmosférica, podem acentuar o desconforto térmico causado pelo aumento da temperatura superficial terrestre.

5.3 Análise das Ilhas de Calor

Conforme já exposto, a variação entre a temperatura rural e urbana é a definição de ilha de calor mais comumente utilizada. No presente estudo as amplitudes identificadas variaram de 13°C a 15°C. Em comparação com outros estudos, Nascimento (2011) identificou diferença de temperatura superficial da área urbana de Goiânia no estado de Goiás em relação à área rural em torno de 14°C. Coltri (2006), também utilizando sensoriamento remoto comprovou que na região de Piracicaba no estado de São Paulo a variação térmica chegou a 19°C. Já Silva (2015) identificou as ilhas de calor urbano com alteração de até 12°C na região de Crato no Ceará.

No presente estudo, ao comparar os mapas de ocupação do solo com a temperatura superficial, é possível confirmar que as temperaturas mais elevadas foram registradas nas áreas de densa urbanização e solo exposto. Por sua vez, a altitude também se apresentou como um fator diretamente relacionado a ocorrência de temperaturas mais amenas e regiões de frescor. Segundo Monteiro e Mendonça (2003), a geografia presente nas imediações das cidades tem papel importante na formação do clima local. Os autores relatam que há casos de microclimas urbanos, com ocorrências pontuais dentro de climas como florestas ou montanha.

Com base nos resultados obtidos até o momento, não é possível comprovar a intensificação das ilhas de calor na região estudada com o passar do tempo. Todavia, os resultados ratificam estudos anteriormente citados e a compreensão de que a cobertura do solo e, principalmente, o uso de materiais característicos de áreas urbanizadas influenciam diretamente na temperatura superficial e, por conseguinte, no conforto térmico.

Cabe salientar, que as imagens utilizadas neste estudo foram captadas de manhã e não registram, conforme associação aos dados meteorológicos, as maiores temperaturas do dia. Conforme Gartland (2010), pela manhã as diferenças de temperatura urbana e rural são menores. Isso posto, e considerando que ilhas de calor tendem a se intensificar ao longo do dia, pode-se também concluir que há maior amplitude térmica que as comprovadas pela presente pesquisa e inclusive ocorrência de temperaturas superiores.

Especificamente, as regiões que apresentaram maior diferença térmica com as zonas rurais e, podem, portanto, serem enquadradas como ilhas de calor, referem-se às áreas urbanas dos municípios de Lajeado, Estrela e Teutônia. Identificou-se ocorrências de menor área na região central do município de Arroio do Meio e em áreas de solo exposto em meio às zonas rurais. Coltri (2006) ressalta que em sua maioria as ilhas de calor são identificadas em locais onde há excesso de material de construção civil. Gartland (2010), complementa que maior impacto das ilhas de calor são nas áreas urbanas onde residem a maioria da população, concluindo que as principais influências negativas desse fenômeno são: maior demanda de energia, desconforto térmico, influência no aumento da poluição do ar.

CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou mapear as mudanças de ocupação do solo e temperatura superficial terrestre, por meio de três amostras, ao longo de 14 anos. Com suporte de dados meteorológicos para validação do método e compreensão do sistema climático regional, pode-se constatar que as ilhas de calor concentraram no perímetro urbano, mas não ocorre intensificação como passar do tempo.

Além disso, verificou-se que as temperaturas superficiais terrestres apresentam certo padrão de variação espacial. Haja vista, que mesmo com diferentes condições e tempos, o comportamento de distribuição termal foi similar em todos os anos estudados. A amplitude térmica nos três anos estudados variou entre 13°C e 15°C, corroborando com a reconhecimento deste padrão de variação espacial.

Em relação ao crescimento da área urbana, identificou-se que a maior expansão ocorreu entre os anos de 2009 e 2018. Embora a região tenha em sua maior parte áreas de agricultura e pastagem, vale ressaltar que cidades como Lajeado, Teutônia e Estrele estão em constante expansão e o planejamento urbano, considerando os aspectos climáticos é uma importante ferramenta para melhorar a qualidade de vida da população.

Verificou-se que o sensoriamento remoto é uma importante ferramenta no diagnóstico e planejamento ambiental e se mostrou eficaz no estudo de temperatura. Os resultados podem ser refinados, proporcionando estudos em escalas mais locais e até mesmo, dentro da própria malha urbana.

Ressalta-se que a temática do presente estudo é ampla e permite que seja dada continuidade a esse trabalho, como forma de melhor qualificar os resultados, integrado à análise outras variáveis e maior detalhamento nas classes de uso e ocupações dos solos. Ademais, pode-se também avaliar que a influência de arborização no clima local urbanizado e em áreas de solo exposto pode ser atenuadora os efeitos de Ilhas de Calor.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA JUNIOR, Nicácio Lemes de. Estudo de clima urbano: uma proposta metodológica. **Cuiabá. Dissertação**, 2005.
- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; NETO, João Lima Sant'Anna; DUBREUIL, Vincent. Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 EM cidade tropical. **Rev. geogr. Norte Gd.**, Santiago , n. 43, p. 65-80, sept. 2009 .
- BARBOSA, R. V. **Áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos: estudo em microclimas de Maceió (AL)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Hidráulica e Saneamento. São Carlos: Universidade de São Carlos, 2005.
- BARROS, Hugo Rogério; LOMBARDO, Magda Adelaide. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de São Paulo-SP. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016.
- BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, 2004.
- BIAS, E. De S.; BAPTISTA, GM De M.; LOMBARDO, Magda Adelaide. Analise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 11, p. 1741-1748, 2003.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2 a ed.rev. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CARVALHO, Márcia Monteiro de. **Clima urbano e vegetação: estudo analítico e prospectivo do Parque das Dunas em Natal**. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque et al. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- CHANDER, Gyanesh, Brian L. Markham, and Dennis L. Helder. "Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors." *Remote sensing of environment* 113.5 (2009): 893-903.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de sistemas ambientais**. Edgard Blücher, 2002.

COLTRI, Priscila Pereira. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto.** 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CORTESE, Tatiana Tucunduva Philippi; NATALINI, G. T. ; PHILIPPI JR, Arlindo ; AMBRIZZI, Tércio ; SALDIVA, P.H.N. ; SOBRINHO, E.J.M. ; PEGORELLI, Sandra ; COELHO, M.S.Z.S. ; CEZARE, J. P. ; COUTINHO, S.M.V. . **Mudanças Climáticas: do global ao local.** 1. ed. Barueri: Editora Manole, 2013. v. 01. 146p .

DA COSTA ARAÚJO FILHO, Milton; MENESES, Paulo Roberto; SANO, Edson Eyji. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 2, 2007.

DE AVELINE BERTÊ, Ana Maria et al. Vale do Taquari. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 26, p. 1025-1070, 2016.

DELGADO, R. C. et al. Uso do sensoriamento remoto na estimativa dos efeitos de ilhas de calor. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 25, n. 9, p. 69-80, 2012.

DIEDRICH, Vianeí. L., FERREIRA, Everaldo R., ECKHARDT, Rafael R.; **Espacialização das estimativas das temperaturas máximas, médias e mínimas anuais para o Vale do Taquari - RS - Brasil, pelo método de regressão linear.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21 – 26 de abril de. INPE, p. 153 – 159. 2007.

ECKHARDT, Rafael Rodrigo. **Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujeitas a Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado/RS.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2008.

FARIAS, Juliana Felipe; DA SILVA, Edson Vicente; RODRIGUEZ, José Manuel Mateo. Aspectos do Uso e Ocupação do Solo do Semiárido Cearense: Análise Espaço-Temporal (1985-2011) Sob o Viés da Geoecologia das Paisagens (Aspects of the Use and Occupation of Soil in the Semi-Arid of the Ceara State: Space-Time Analysis (1985-2011) Under.. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 136-147, 2013.

FEITOSA, Sônia Maria Ribeiro et al. Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina-Piauí. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, p. 58-75, 2011.

FLORENZANO, Teresa Galloti. **Iniciação em Sensoriamento Remoto.** 3ª ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2011

GOERL, Roberto F.; SIEFERT, Cesar A. C.; SCHULTZ, Gilson B.; SANTOS, Camila S.; SANTOS, Irani. **Elaboração e Aplicação de Índices de Fragmentação e Conectividade da Paisagem para Análise de Bacias Hidrográficas.** **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 05, p. 1000-1012, 2011.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

IBGE, IBDGEE. Manual Técnico de Uso da Terra. 2013.

HASENACK, H.; Weber, E.(org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). **ISBN 978-85-63483-00-5** (livreto) e **ISBN 978-85-63843-01-2** (DVD).

LANG, Stefan; BLASCHKE, Thomas. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MAXIMIANO, Liz Abad. Considerações sobre o conceito de paisagem. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, 2004.

MAXIMIANO, Liz Abad. **Considerações sobre o conceito de paisagem**. Raega-O Espaço Geográfico em Análise, v. 8, 2004.

MELLO, Kelen Berra de. **Simulação da dispersão de poluentes na camada limite planetária através da solução da equação de Langevin pelo método de decomposição**. 2010.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação**. 2ª Ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de (org); Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Universidade de Brasília. Brasília, 2012.

METZGER, Jean Paul. **O que é ecologia de paisagens?** In www.biotaneotropica.org.br. **Publicado em**, v. 28, n. 11, p. 2001, 2001.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2005.

NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira; OLIVEIRA, Ivanilton José de. **Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia/GO (1986-2010)**. 2011.

NOVO, Evelyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1993.

PUNTEL, G. A.. **Paisagem: uma análise no ensino de geografia**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

RIBEIRO, Antonio Giacomini. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teorética**, v. 23, n. 45-46, p. 288-294, 1993.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. ProEditores Associados, 2001.

ROSA, Roberto. **Geotecnologias na Geografia Aplicada**. Revista do Departamento de Geografia. Uberlândia, out. 2005, p. 81-90.

SANTOS, RF dos. **Vulnerabilidade ambiental**. Brasília: MMA, 2007.

SCHIER, Raul Alfredo. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **RA'E GA-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 7, 2003.

SILVA, Juliana Maria Oliveira. Uso do sensoriamento remoto para a estimativa da temperatura de superfície na microbacia do rio granjeiro, Crato, Ceará. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 6, n. 2, p. 130-144, 2015.

SOARES FILHO, BRITALDO SILVEIRA. Análise de Paisagem: Fragmentação e mudanças. **Belo Horizonte**, 1998.

SORRE, Max. Objeto e método da climatologia. **Revista do departamento de geografia**, v. 18, p. 89-94, 2011.

TOMASINI, Juliana. **Padrão de variabilidade do vento à superfície, em Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil: implicações ambientais**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso.

U.S. Environmental Protection Agency. 2008. **Reducing urban heat islands: Compendium of strategies**. Disponível em: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.



UNIVATES

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09